

PASIVNE OPTIČKE MREŽE ZA PRISTUP

Vladanka Aćimović-Raspopović, Goran Marković, Vesna Radonjić
Saobraćajni fakultet u Beogradu

Sadržaj: *Pasivne optičke mreže (PON) postale su alternativa rešavanju problema optičkog pristupa do krajnjeg korisnika (FTTH, Fiber To The Home). Ključna prednost PON sistema, zasnovanih na potpuno pasivnim komponentama, je u tome što ne zahtevaju napajanje, niti primenu dodatnih uređaja za instalaciju opreme na licu mesta. Do sada su predložene različite PON tehnologije za implementaciju na fizičkoj topologiji drveta. U radu je dat pregled standardizovanih PON sistema i prikazan očekivani scenario razvoja optičkih mreža za pristup baziranih na PON tehnologiji.*

Ključne reči: *mreže za pristup, pasivne optičke mreže (PON)*

1. Uvod

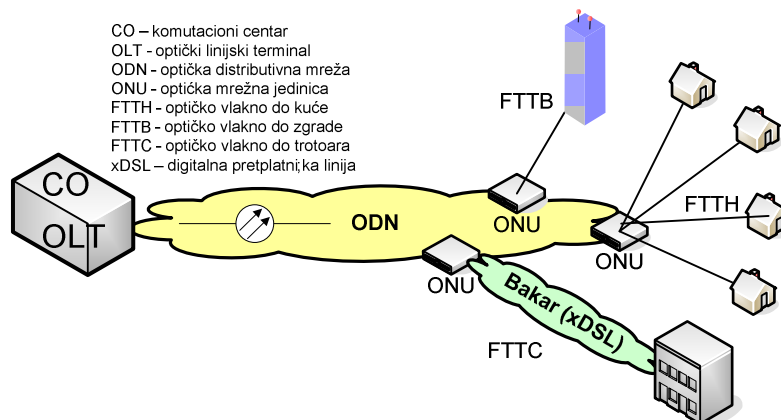
Pasivne optičke mreže, PON (Passive Optical Networks), već duže vremena unazad, smatraju se jednom od najpogodnijih solucija za realizaciju različitih varijanti optičkih mreža za pristup. PON su počele da se razvijaju još 80-ih godina prošlog veka, prvobitno kao optičke infrastrukture za telefoniju (TPON–Telephony PON). Danas su PON širokopojasne mreže, implementirane kao A/BPON (ATM/Broadband PON), EPON (Ethernet PON) ili GPON (Gigabit PON) i predstavljaju jedno od najprivlačnijih rešenja za kvalitetan, brz, ekonomičan i pouzdan širokopojasni multiservisni pristup.

Sasvim je jasno da cena optičke mreže za pristup predstavlja osnovni limitirajući faktor za dovođenje optičkog vlakna do krajnjeg korisnika (*FTTH - Fiber To The Home*). Umesto *point-to-point* arhitektura u kojima je svaki korisnik povezan zasebnim optičkim vlaknom sa komutacionim centrom, *point-to-multipoint* FTTH arhitekture obezbeđuju niže troškove po korisniku deljenjem ukupne cene optičkih vlakana i opreme na veći broj korisnika. PON FTTH mreže su uobičajeno *point-to-multipoint* tipa, obezbeđujući povezivanje većeg broja korisnika jednim vlaknom od komutacionog centra (CO, central office) do pasivnog razdelnika, a zatim posebnim vlaknom do svakog korisnika. Troškovi mreže za pristup mogli bi se potencijalno smanjiti implementacijom isturenih komutacionih uređaja (koncentratora) u blizini korisnika, ali bi se tada morao dodatno rešavati problem njihovog napajanja. Da bi mreža za pristup bila efikasna i imala početnu nisku cenu neophodno je da u sebi sadrži isključivo pasivnu opremu. Prisustvo aktivne opreme bi umanjilo bi i pouzdanost mreže. Kako se PON sastoji samo od pasivnih elemenata, potreba za korišćenjem bilo kakve elektronske opreme i napajanja u sistemu

ne postoji, pa je i cena instaliranja, održavanja i administriranja ovakvih arhitektura svedena na minimum.

2. Arhitektura PON mreže

PON mreža se sastoji od optičkih linijskih terminala (OLT, Optical Line Terminal) smeštenih u centrali (CO) i skupa optičkih mrežnih jedinica (ONU, Optical Network Unit), smeštenih na lokaciji korisnika ili njegovoj neposrednoj blizini (slika 1). Lokacija ONU jedinice određuje tip PON mreže za pristup (FTTx). Između OLT i ONU nalazi se optička distributivna mreža (ODN, Optical Distribution Network) koja se sastoji od optičkih vlakana i pasivnih splitera/kombajnera optičkog snopa. OLT oprema u CO povezuje optičku mrežu za pristup sa MAN/WAN mrežama (PSTN, Intenet, Ethernet, ATM, CaTV i dr). ONU predstavlja interfejs između korisnika i PON mreže. Osnovna funkcija ONU jedinice je da primi saobraćaj u optičkom domenu, konvertuje ga u električni i razdvoji signal na servise po zahtevu korisnika. U downstream smeru (od centrale ka korisniku), saobraćaj od OLT jedinice se distribuira svim ONU jedinicama, koje zatim, na osnovu određene adrese, vrše procesiranje saobraćaja koji je njima upućen. U upstream smeru (od korisnika ka centrali), korišćenje raspoloživih resursa vrši se na bazi TDMA višestrukog pristupa, pod kontrolom OLT jedinice, koja vrši dodelu vremenskih slotova za sinhronizovani prenos podataka svih ONU jedinica. Svakom korisniku mreže mogu biti dodeljeni fiksni (statički) ili varijabilni (dinamički) resursi.



Slika 1. FTTx varijante PON optičke mreže

Na određenim lokacijama u ODN nalaze se pasivni razdelnici preko kojih su ONU jedinice povezana sa glavnim optičkim vlaknom. Najjednostavnije PON mreže poseduju samo jedan delitelj snopa, koji se postavlja na kraju transmisionog dela ODN-a, kako bi se minimizirala dužina optičkih vlakana koja se koriste u mreži. Drugi princip strukturiranja PON mreže jeste korišćenje više delitelja snopa. U ovom slučaju se povećava ukupna dužina korišćenih optičkih vlakana i cena mreže, ali se omogućava fleksibilno preuređenje mreže promenom konekcija između delitelja snopa i ONU-a. To može povećati performanse mreže kad dođe do prezasićenja nekog ONU ili više njih vezanih na isti delitelj snopa. Takođe je moguće koristiti kaskadno povezane delitelje

snopa (prvi delitelj na kraju transmisionog dela mreže, a ostali iza njega u distribucionom delu mreže), čime se može povećati ukupan broj ONU-a. Ovakav vid fleksibilne konfiguracije je naročito pogodan za buduću nadogradnju mreže, jer početna viša cena instalacije u budućnosti uz male troškove podmiruje povećane zahteve korisnika. Maksimalni broj delitelja optičkog snopa zavisi od proračuna gubitaka u PON mreži i korišćenog protokola. Što se više deli snop to se smanjuje kapacitet linka koji se nudi pojedinim korisnicima kao i domet linka, jer se smanjuje optička snaga koja se prenosi duž njega. Trenutno standardizovani PON sistemi (od strane IEEE i ITU) su maksimalne dužine do 20 km, sa 16, 32 i 64-strukim razdelnicima za EPON, BPON i GPON, respektivno.

3. Karakteristike BPON/GPON/EPON tehnologija

BPON, GPON i EPON tehnologije zasnovane su na TDM (Time Division Multiplex) načinu multipleksiranja (TDM-PON). Svi PON standardi su razvijeni za implementaciju na fizičkoj topologiji drveta. Ova topologija omogućava da svi korisnici imaju slične zahteve za budžetom snage (*Power Budget*, PB), iako broj vlakana nije optimalan i ne obezbeđuje oporavak u slučaju prekida na vlaknu. S druge strane, topologija prstena je bolje rešenje u smislu broja vlakana, ali ne predstavlja PB optimalno rešenje u slučaju mreže sa velikim brojem čvorova. Osnovne karakteristike standardizovanih TDM-PON tehnologija prikazane su uporedno u Tabeli 1.

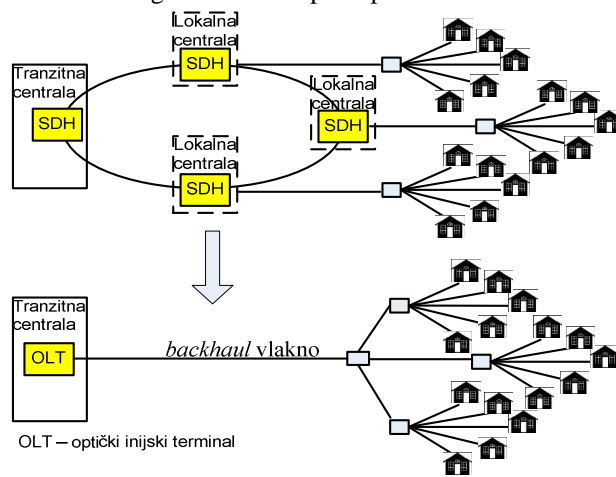
Tabela 1. Karakteristike standardizovanih TDM-PON tehnologija

	BPON	GPON	EPON
Standard/godina	ITU-T G.983.x / od 1998	ITU-T G.984.x / 2003	IEEE 802.3ah/ 2004
Binarni protok [Mb/s]	<i>downstream</i>	155, 622 ili 1244	1244 ili 2488
	<i>upstream</i>	155 ili 622	155, 622, 1244, 2488
Korisnika/PON	32	64	16
Binarni protok po korisniku [Mb/s]	20	40	60
Maksimalan domet [km]	20	20	20
Jedinica za prenos podataka	ATM ćelija	GEM ram	Ethernet ram
Servisi	Multiservis (Ethernet, TDM, POTS)	Multiservis (Ethernet, TDM, POTS)	Ethernet servisi
Procenjeni troškovi	Mali	Srednji	najmanji

BPON standard, baziran na ATM protokolu, razvijen je kroz seriju G.983.x preporuka, izdatih od strane ITU-T u periodu od 1998 do 2003 godine. BPON predstavlja proširenje ranijeg APON (ATM PON) standarda, sa ciljem da se standardizuju neki dodatni širokopojasni servisi putem optičkih mreža, koji prethodno nisu bili obuhvaćeni APON standardom (kao što su high speed Ethernet, video distribucija i dr.). Standardi koji su danas međusobno konkurentni za dominantnu poziciju na FTTH tržištu su: Ethernet PON (EPON) i Gigabit PON (GPON). GPON standard predstavlja kontinuitet i evoluciju BPON standarda i obezbeđuje simetrične brzine do 2.488 Gb/s u downstream-u i upstream-u. Jedna od osnovnih karakteristika GPON-a je primena GEM(GPON

Encapsulated Method) metode enkapsulacije, što pruža efikasno pakovanje korisničkih podataka u ramove varijabilnih dužina. Osim enkapsulacije ATM ćelija, GPON podržava Ethernet ramove, kao i TDM slotove. Zahvaljujući segmentaciji rama GPON omogućava održavanje različitih nivoa kvaliteta servisa (QoS, Quality of Service). S druge strane, EPON standard (IEEE 802.3 ah) koji je razvio IEEE i koji se zasniva na Ethernet tehnologiji, pruža simetričan prenos Ethernet ramova brzinom od 1 Gb/s. On nije tako efikasan kao GPON u smislu upravljanja propusnim opsegom i obezbeđivanja QoS, ali predstavlja ekonomičnije rešenje od GPON-a. Nedavno je formirana i IEEE P802.3av radna grupa, koja ima za cilj unapređenje EPON standarda za prenos brzinom od 10Gb/s (10GEAPON) simetrično, ili za asimetričan prenos od 10Gb/s u downstream i 1Gb/s u upstream smeru.

Aktuelna istraživanja u oblasti TDM-PON sistema usmerena su ka implementaciji pristupnih mreža za velika rastojanja (~100km), koje imaju za cilj da, skupe i nefleksibilne metro mreže zasnovane na prstenastim SDH/ATM arhitekturama, „premoste“ i time omoguće da krajnji korisnici, putem *backhaul* linkova, budu direktno povezani na čvorove *core* mreže (slika 2). Kombinacija mreža za pristup i metro mreža u jedinstven sistem trebalo bi da omogući realizaciju koncepta optičkih mreža za pristup za velika rastojanja (*long-reach optical access networks*), čime bi se značajno pojednostavila arhitektura mreže, smanjila cena i povećala pouzdanost mreže [1]. Ovim bi se potencijalno eliminisala potreba postojanja lokalnih centrala, brojnih interfejsa i elemenata mreže i tako omogućio direktan pristup korisnika na tranzitne centrale.



Slika 2. Kombinacija metro mreže i mreže za pristup [1]

4. Upravljanje resursima i kvalitetom servisa u TDM-PON sistemima

Kao što je prethodno rečeno, prenos podataka preko standardizovanih PON sistema vrši se u vremenskim slotovima. Da bi se unapredile performanse, jedan od ključnih problema koji je neophodno rešavati odnosi se na upravljanje resursima. Upravljanje resursima TDM-PON sistema ima za cilj što efikasnije korišćenje raspoloživog deljenog kapaciteta talasne dužine u *upstream* smeru. Upravljanje resursima obuhvata: ugovaranje resursa između ONU jedinica i OLT, plan prenosa i dodelu propusnog opsega.

Ugovaranjem resursa postiže se rezervacija i fleksibilna dodela vremenskih slotova ONU jedinicama, planom prenosa definiše se redosled prenosa u upstream smeru, dok se dodela propusnog opsega zasniva na donošenju odluke o dužini vremenskih slotova.

Ugovaranje resursa podrazumeva razmenu informacija između OLT i ONU jedinica, putem odgovarajućih kontrolnih poruka, ćelija ili ramova, definisanih MAC (Media Acces Control) protokolom za kontrolu pristupa TDM-PON sistemu. BPON standard definiše PLOAM(Physical Layer Operation Administration and Maintenance) ćeliju dužine 53 bajta, kojom se prenose informacije o ugovaranju resursa. IEEE 802.3ah standard definiše multipoint MAC podnivo za upravljanje radom u realnom vremenu preko EPON mreža. MPCP (Multipoint Control Protocol) protokol definiše dve 64-bajtna MAC kontrolne poruke kojima se omogućava ugovaranje resursa između ONU jedinica i OLT. U GPON, svaka ONU jedinica šalje svoj zahtev za prenosom korišćenjem DBRu (Dynamic Bandwidth Report upstream) polja za indikaciju dužine reda. U downstream smeru, informacija o dodeli resursa prenosi se u okviru PBCd(Physical Control Block downstream) polja, koje se nalazi na početku svakog GPON rama, kojom potvrđuje ONU jedinice da joj je dodeljen resurs za prenos u upstream smeru.

Za definisanje redosleda prenosa u upstream smeru mogu se primeniti različite strategije. Jedna od mogućih je RR (Round Robin) strategija, prema kojoj se ONU jedinicama omogućava prenos redosledom koji zavisi od njihovog identifikacionog broja, koji im se dodeljuje od strane OLT pri njihovom registrovanju na TDM-PON sistem. Ovakav pristup je jednostavan za implementaciju, ali nije adaptivan na trenutne promene saobraćaja. Da bi se ovaj nedostatak prevazišao, moguće je primenjivati adaptivne strategije, kao što su LQF (Longest Queue First) ili EPF (Earliest Packet First). Prema LQF, prioritet u TDMPON sistemu daje se onim ONU jedinicama sa najdužim redom čekanja za prenos. Opsluživanjem prvo izrazito opterećenih ONU jedinica, nastoji se da se smanji srednje kašnjenje i verovatnoća gubitka paketa u mreži. Sa druge strane, EPF metod registruje vremenske trenutke nailaska prvog paketa u svakom ONU redu, i određuje raspored ONU prema kriterijumu prvog pristiglog paketa. S obzirom da "stariji" redovi uobičajeno dovode do povećanja prosečnog kašnjenja i gubitaka paketa, EPF metodom se najveći prioritet daje najranije pristiglim podacima.

U cilju efikasnijeg korišćenja raspoloživih resursa u TDM-PON sistemima, OLT jedinica vrši kontrolu prenosa u *upstream* smeru primenom odgovarajućih algoritama za dodelu propusnog opsega. Svi algoritmi se, u zavisnosti od toga da li su dodeljeni vremenski slotovi fiksne ili varijabilne dužine, mogu generalno podeliti na statičke (FBA, *Fixed Bandwidth Allocation*) i dinamičke (DBA, *Dynamic Bandwidth Allocation*) algoritme, respektivno. FBA algoritmi su jednostavni za implementaciju, ali ne uzimaju u obzir trenutne promene saobraćaja u mreži, što za posledicu ima nedovoljno efikasno korišćenje resursa talasne dužine u upstream smeru. Sa druge strane, DBA algoritmi vrše monitoring statusa redova ONU jedinica i dinamički dodeljuju resurse u upstream smeru pojedinim jedinicama na bazi trenutnih vrednosti njihovog saobraćaja [2, 3]. Do sada je predložen veoma veliki broj algoritama za dinamičku dodelu resursa, koji se mogu generalno klasifikovati na dve opšte kategorije IPACT (*Interleaved Polling with Adaptive Cycle Time*) i PBA (*Prediction Based bandwidth Allocation*). Svi predloženi algoritmi se mogu dalje klasifikovati na dve podkategorije u zavisnosti od toga da li podržavaju QoS ili ne [4].

Problem obezbeđivanja kvaliteta servisa (QoS, *Quality of Service*) je veoma aktuelan u mrežama za pristup, posebno u EPON mrežama [4]. U poslednje vreme se kao moguća rešenja ovog problema predlažu različiti inter-ONU i intra-ONU dinamički pristupi. Međutim, da bi se obezbedio i održao QoS aplikacija u realnom vremenu, pored alokacije propusnog opsega i diferencijacije servisa, potreban je i odgovarajući algoritam kontrole pristupa (AC, *Admission Control*). Algoritam treba da omogući donošenje odluke o prihvatanju ili neprihvatanju novog saobraćajnog toka na određenoj ONU, na osnovu zahteva tog saobraćajnog toka i zauzetosti upstream kanala. Takođe, odgovarajućom kontrolom pristupa aplikacija u realnom vremenu mogu se sprečiti zlonamerni korisnici da zloupotrebe upstream kanal slanjem više saobraćaja u mrežu nego što im dozvoljava njihov sporazum o nivou servisa (SLA, *Service Level Agreement*).

S obzirom da u upstream smeru sve optičke mrežne jedinice dele isti prenosni medijum, EPON sistemi moraju imati MAC mehanizam da bi se izbegle pojave kolizije. Korišćenjem CSMA/CD, optički linijski terminal može detektovati koliziju na pristupu ONU, ali ovo rešenje nije jednostavno implementirati i na ovaj način se ne postiže odgovarajuća efikasnost. Umesto toga se može koristiti WDM tehnologija, kojom se svakoj ONU dozvoljava rad na različitim talasnim dužinama i na taj način se sprečava pojava interferencije saobraćaja sa drugih optičkih mrežnih jedinica. Ovo rešenje je za razliku od prethodnog jednostavno primeniti, ali je dosta skuplje jer zahteva podešljivi pojačavač ili niz pojačavača na OLT-u za prijem podataka koji se prenose po višestrukim kanalima. Takođe se može koristiti TDMA u kome se svakoj ONU za prenos podataka preko OLT-a, dodeljuje vremenski slot (kanal) ili TW (*Transmission Window*), koji može biti fiksni ili dinamički. Na ovaj način, optičke mrežne jedinice periodično zauzimaju prenosni medijum. Korišćenjem TDMA se sprečavaju kolizije podataka iz različitih optičkih mrežnih jedinica i zahteva se samo jedna talasna dužina i jedan primopredajnik na OLT-u, što u velikoj meri smanjuje troškove. Primena ove metode se može zasnivati na statičkoj ili dinamičkoj alokaciji propusnog opsega. Dinamička alokacija propusnog opsega je efikasnija od statičke, posebno u slučajevima eksplozivnog (bursty) saobraćaja.

Skorija istraživanja ukazuju da dobre rezultate može dati WDM unapređeno rešenje jednokanalnog TDM EPON-a. Predloženo je nekoliko algoritama tog tipa, od kojih treba istaći WDM IPACT-ST i BSC (Byte Size Clock) DWA (Dynamic Wavelength Allocation).

Algoritmi dinamičke alokacije propusnog opsega (DBA algoritmi) mogu se klasifikovati na algoritme sa statističkim multipleksiranjem, kao što je IPACT (*Interleaved Polling with Adaptive Cycle Time*) i algoritme sa garancijama QoS. U IPACT algoritmima, OLT daje pojedinačne dozvole za prenos optičkim mrežnim jedinicama koristeći RR strategiju. Algoritmi sa garancijama QoS mogu se podeliti na algoritme sa apsolutnim garancijama QoS, kao što su BGP (Bandwidth Guaranteed Polling) [5] i DEB (Deterministic Effective Bandwidth) [6] i algoritme sa relativnim garancijama QoS. Za dinamičku alokaciju propusnog opsega koristi se LSTP (Limited Sharing with traffic Prediction) u okviru koje se metode prognoziranja za dolazni saobraćaj koriste da bi se ograničilo kašnjenja paketa.

Da bi se omogućili servisi u realnom vremenu sa heterogenim QoS karakteristikama, veoma je važno obezbediti pristup mreži sa garancijama QoS i istovremenim efikasnim iskorišćenjem propusnog opsega. Jedno od predloženih rešenja, koje obezbeđuje servise sa garancijama QoS, pod čime se podrazumevaju ograničeno kašnjenje, manji gubici i

maksimiziranje propusnog opsega za servis najboljeg pokušaja (best-effort), predstavlja dual Deterministic Effective Bandwidth-Generalized Processor Sharing (DEB-GPS) redosled [7]. Takođe je predložena metoda za obezbeđivanje QoS saobraćajnim tokovima u realnom vremenu, angažovanjem propusnog opsega po prihvatanju saobraćajnog toka.

Da bi se osigurao kvalitet servisa saobraćajnim tokovima u realnom vremenu, pored alokacije propusnog opsega (inter-ONU) i diferencijacije servisa i raspoređivanja (intra-ONU), potreban je odgovarajući algoritam kontrole pristupa, koji bi na osnovu zahteva i trenutne zauzetosti upstream kanala, odlučivao da li se novi saobraćajni tok prihvata ili ne. Kontrola pristupa takođe, pomaže u zaštiti QoS postojećih saobraćajnih tokova i prihvata nove tokove samo ako im se zahtevi za QoS mogu garantovati.

Propusni opseg koji se dodeljuje svakoj ONU može se garantovati samo za jedan mali vremenski interval (cycle) i može se razlikovati u zavisnosti od saobraćajnih zahteva na optičkim mrežnim jedinicama. Od svake ONU se zahteva rezervacija propusnog opsega za svoje saobraćajne tokove kako bi zadovoljila njihove zahteve za QoS. Kada se jednom rezerviše propusni opseg, OLT ga ne može više dodeljivati drugim optičkim mrežnim jedinicama. Na svakoj ONU se definišu minimalni propusni opseg (da bi se zadovoljili zahtevi za QoS pojedinačnih saobraćajnih tokova) i maksimalni propusni opseg (da bi se omogućio pristup kanalu i drugim ONU-ma). Sistem koji se predlaže u radu [7], podrazumeva implementaciju kontrole pristupa u dva koraka: prvi je lokalni pristup ONU (minimalni garantovani propusni opseg je pod kontrolom ONU), a drugi je globalni pristup na OLT (OLT centralizovano kontroliše raspoređivanje različitih ONU, da bi se sprečile pojave kolizije i da bi se omogućio slobodan pristup kanalu). Za svaki korak je predviđen vremenski interval istog trajanja ($T_1 = T_2$). Takođe se određuje maksimalni propusni opseg koji se može dodeliti najzauzetijoj ONU.

Za aplikacije u realnom vremenu, sistem QoS može se definisati preko PCU (*Policy Control Unit*) i mogu se definisati različiti pragovi za parametre kao što su verovatnoća odbacivanja paketa i maksimalno dozvoljeno kašnjenje. Skup parametara koji karakteriše neki saobraćajni tok, različit je za različite klase saobraćaja. Kada krajnji korisnik specificira taj skup parametara, zadatak jedinice za kontrolu pristupa (ACU, *Admission Control Unit*), koja se nalazi u okviru ONU ili u okviru OLT-a, je da odredi da li treba prihvatiti novi saobraćajni tok i da li se za taj tok mogu garantovati zahtevi za QoS, a da se pri tom ne ugroze zahtevi za QoS već prihvaćenih saobraćajnih tokova. Ako zbog nedovoljnog propusnog opsega, ONU ne može prihvatiti novi saobraćajni tok, ona o tome izveštava OLT preko MPCP (*MultiPoint Control Protocol*) protokola. MPCP protokol trenutno nema mehanizme za dostavljanje takvih informacija, ali se pretpostavlja da se on može proširiti uvođenjem REPORT poruke (koja bi mogla da prenosi takve informacije) u opciona polja koja su rezervisana za buduće aplikacije. OLT može prihvatiti novi saobraćajni tok samo ako postoji raspoloživi propusni opseg u drugom vremenskom periodu, T_2 i ako ONU koja šalje taj zahtev nije prekoračila maksimalni propusni opseg koji je za nju predviđen. Samo ako su oba uslova ispunjena, OLT će uslovno prihvatiti novi saobraćajni tok i nadgledati njegove QoS parametre u narednih n perioda.

5. Evolucija TDM-PON sistema

Kod TDM-PON sistema, korisnici dele samo po jednu talasnu dužinu u svakom smeru prenosa, čime je raspoloživi kapacitet po korisniku relativno ograničen. Osim toga, ogroman dostupan propusni opseg optičkog vlakna ostaje time nedovoljno iskorišćen. Komercijalna implementacija budućih *Triple-play servisa* (govor/podaci/video) zahtevaće značajno efikasnije korišćenje transmisionih kapaciteta i obezbeđenje značajno većih propusnih opsega do pojedinačnih korisnika. Ovo će biti posebno značajno za obezbeđenje/ugovaranje zahtevanog nivoa kvaliteta servisa (QoS/SLA), u zavisnosti od dopuštenog kašnjenja i verovatnoće gubitka paketa. Tehnologija multipleksiranja po talasnim dužinama (WDM, wavelength division multiplexing) je jedna od izuzetno pogodnih solucija za efikasno buduće proširenje kapaciteta TDM-PON arhitektura bez značajnih izmena u optičkoj infrastrukturi [8,9]. WDM tehnologija se već uveliko primenjuje na nivou mreža za široka područja (WAN) i metro mreža (MAN), gde se ukupna cena WDM komponenata deli na veliki broj korisnika. Međutim, primena WDM-a na nivou mreža za pristup, gde se ukupna cena opreme deli samo na par desetina korisnika, još uvek je samo na nivou idejnih rešenja. Iz tog razloga, razvoj odgovarajućih arhitektura mreža, podsistema i uređaja koji bi omogućili smanjenje cena budućih WDM-PON širokopojasnih mreža za pristup je od suštinske važnosti za njihovu buduću implementaciju. Potencijalne WDM-PON arhitekture već su inicijalno predložene od strane pojedinih istraživačkih i industrijskih organizacija [8,9], ali još uvek nisu standardizovane. Trenutno se sprovode brojna istraživanja koja treba da omoguće evoluciju postojećih TDMPON sistema i ispituju moguće načine njihovog prelaska na buduće WDMPON arhitekture. Do sada su, u okviru raznih istraživačkih projekata, predloženi neki mogući scenariji evolucije standardizovanih TDMPON arhitektura, od kojih će neki biti navedeni u nastavku.

PLANET SuperPON projekat

Evropski projekat *PLANET (Photonic Local Access NETWORK)* pokrenut je sredinom 90-tih godina prošlog veka [10] od strane konzorcijuma vodećih telekomunikacionih operatora u nastojanju da razviju ekonomski efikasnu mrežu za multiservisni pristup. Super pasivna optička mreže (SuperPON), kako je nazvan prototip unapređene arhitekture optičke mreže za pristup, bazira se na unapređenju širokopojasne BPON arhitekture (zasnovane na G.983 standardu) u pogledu implementacije većeg faktora deljenja, povećanja dometa, binarnog protoka i broja korisnika (ONU jedinica). Da bi se to postiglo, neophodno povećanje budžeta snage u optičkoj PON mreži postignuto je implementacijom optičkih pojačavača (ukupno 39). Suštinska prednost primene optičkih pojačavača, umesto elektronske opreme u pristupnim čvorovima, ogleda se u transparentnosti u pogledu formata, binarnih protoka, talasnih dužina i njihovom jednostavnom upravljanju. Broj ONU jedinica u SuperPON mreži povećan je sa 32 na 2048, a domet mreže sa 20 na 100km, pri čemu je maksimalna dužina napojnog backhaul dela mreže 90km, dok je distributivni deo mreže, od poslednjeg pojačavača do korisnika, dužine do 10km. Transportni sistem koji podržava SuperPON zasniva se na ATM protokolu. Binarni protok u downstream smeru povećan je na 2.5Gb/s u poređenju sa 622Mb/s u BPON mreži, dok je u upstream smeru sa 155Mb/s povećan na 622Mb/s. Kao i kod BPON mreže, u downstream smeru saobraćaj se elektronski multipleksira primenom TDM protokola i distribuira svim ONU jedinicama koje zatim vrše demultipleksiranje, dok se raspoloživi kapacitet u upstream smeru deli između korisnika korišćenjem TDMA

tehnike višestrukog pristupa. Kombinacija TDM/TDMA protokola u SuperPON pruža mogućnost implementacije tehnologije multipleksiranja po talasnim dužinama i višestrukog pristupa na bazi raspodele po talasnim dužinama (WDMA-Wavelength Division Multiple Access) kada zahtevi za korišćenjem mrežnih kapaciteta prevaziđu dostupne kapacitete TDM-PON arhitekture [10]. Rezultati istraživanja PLANET projekta, pokazuju da je FTTH rešenje ekonomski povoljnija opcija u odnosu na FTTC (Fiber To The Cabinet) soluciju. Ovo se obrazlaže činjenicom da iako FTTC zahteva polaganje manje količine optičkih vlakana, dodatni troškovi postavljanja ONU jedinica na uličnim lokacijama povećavaju ukupnu cenu u odnosu na varijantu kada se ONU postavljaju na lokacijama krajnjih korisnika. S obzirom da korisnici zajednički koriste veliki deo mreže, FTTH preko SuperPON se pokazalo troškovno efikasnijim rešenjem u poređenju sa BPON arhitekturom [10].

Long-Reach PON projekat

Projekat Long-Reach PON optičke mreže za pristup, razvijen od strane British Telecom-a, predviđa realizaciju proširene backhaul PON mreže sa 1024-smernim razdelnikom, dužine do 100km i protokom do 10Gb/s u downstream i upstream smeru [11]. Za razliku od SuperPON, gde se koristi ukupno 39 optičkih pojačavača za downstream i upstream prenos od čvora core mreže do pasivnog razdelnika, kod Long-Reach PON koristi se samo 6 pojačavača. U pristupnom delu mreže, od lokalne centrale do korisnika, mreža je potpuno pasivna.

Kao unapređenje Long-Reach PON arhitekture, predložena je i hibridna DWDM-TDM Long-Reach PON arhitektura, kao nova arhitektura koja podrazumeva implementaciju DWDM tehnologije u PON mrežu [11]. Ovakvo rešenje omogućava realizaciju većeg broja Long-Reach PON arhitektura, koristeći istu optičku infrastrukturu na različitim talasnim dužinama. Ukupna dužina mreže (od ONU do OLT) iznosi do 100km i podeljena je na 3 sekcije. Napojni deo mreže, od ONU jedinice do uličnog kabineta je dužine 6 km, dok narednih 6 km mreže obezbeđuje povezivanje sa lokalnom centralom. Preostali deo mreže dužine do 88km, predstavlja backhaul optičko vlakno kojim se lokalna centrala povezuje na core mrežu. U distributivnom delu mreže, između lokalne centrale i ONU jedinice može postojati više PON mreža, pri čemu se svakoj od njih dodeljuje posebna talasna dužina za downstream saobraćaj i posebna za upstream saobraćaj, koje se koriste za vezu između OLT i ONU jedinice. Saobraćaj iz/ka pojedinih PON arhitektura se kombinuje u lokalnoj centrali korišćenjem DWDM multipleksera/demultipleksera. Ovakav sistem omogućava 10Gb/s simetričan saobraćaj u downstream i upstream smeru na rastojanjima do 100km. Broj korisnika koji se može priključiti zavisi od broja PON arhitektura koje može da podrži svaki deo (sekcija) mreže. U trenutnoj implementaciji, koja podržava do 17 PON arhitektura, uz pretpostavku da svaki PON koristi 256-delne razdelnike, ukupan broj korisnika iznosi 4352. Svaki korisnik može da pristupa sa protokom od najmanje 39 Mb/s (10Gb/s / 256 korisnika).

DWDM GPON projekat

U [12] je nedavno predloženo rešenje za implementaciju GPON na rastojanjima do 135km korišćenjem DWDM. U demonstriranom sistemu koristi se 40-to kanalna Infinera DWDM oprema za prenos po standardnom optičkom vlaknu (G.652) na rastojanjima do 125km od OLT, uz primenu EDFA pojačavača na krajevima DWDM deonice, odakle se pasivnim razdelnikom optički signal deli na 64 grane radi daljeg prenosa u poslednjih 10km do krajnjih korisnika. U predloženom sistemu koriste se transponderi u kojima se vrši OEO konverzija signala da bi se talasna dužina optičkog signala iz OLT terminala konvertovala na standardizovane talasne dužine korišćenog DWDM sistema. S obzirom da se na svakoj talasnoj dužini mogu koristiti isti razdelnici, predloženi sistem podržava priključenje i do 2560 ONU jedinica. Binarni protok u downstream smeru je 2.488Gb/s, a u upstream smeru 1.244Gb/s. Unapređeni GPON sistem omogućava prenos podataka na rastojanjima do 135 km sa verovatnoćom greške manjom od 10⁻¹⁰ u oba smera. Demonstrirani sistem potvrđuje da se standardizovan GPON protokol može uspešno primeniti i za rad u optičkim mrežama na većim rastojanjima [12]. Rezultantne performanse proširenog GPON sistema konzistentne su sa ITU-T G.984 standardom.

WC-PON projekat

Domet u GPON mrežama moguće je povećati primenom OEO regeneracije. Međutim, poslednjih godina i potpuno optička tehnologija postaje raspoloživa. PON mreže sa optičkom konverzijom talasnih dužina WC-PON(Wavelength Converting PON) koriste konvertore talasnih dužina u upstream smeru, koji obavljaju konverziju talasne dužine ONU jedinice u optičkom domenu na standardne DWDM talasne dužine. Na taj način, više PON mreža moguće je grupisati preko zajedničkog backhaul optičkog vlakna, pri čemu se za svaku PON mrežu vrši konverzija talasne dužine na specifičiranu talasnu dužinu na kojoj ona radi. Ovim se postiže značajno efikasnije korišćenje raspoloživog propusnog opsega backhaul vlakna, što za posledicu ima smanjenje cene po korisniku, obzirom da se broj korisnika mreže višestruko uvećava. U [13] je predloženo jedno rešenje WCPON optičke mreže, koja povezuje više standardnih PON arhitektura mreža za pristup (dometa do 20km) preko backhaul vlakna (dužine 100km) korišćenjem 20-to kanalnog DWDM sistema. Svaka PON mreža za pristup može da opslužuju do 64 ONU jedinica, tako da posmatrani WCPON sistem može da podrži povezivanje do 1280 korisnika na rastojanjima do 120km. S obzirom da svaka PON mreža podržava protok od 2.488Gb/s, svakom korisniku (ONU) omogućen je simetričan pristup sa minimalnom brzinom od 38.8Mb/s [13].

PIEMAN projekat

PIEMAN (Photonic Integrated Extended Metro and Access Network) projekat, demonstriran od strane IST(Information Society Technologies) društva, još jedan je u nizu istraživačkih pokušaja usmerenih ka implementaciji optičkih mreža za pristup za šira područja. Optička mreža za pristup proširena je na udaljenosti do 100km, korišćenjem 32-kanalnog DWDM backhaul optičkog sistema. U PIEMAN sistemu, svakoj PON mreži dodeljuje se po jedna talasna dužina, po kojoj se ostvaruje prenos brzinama do 10Gb/s. Svaka PON realizovana je korišćenjem 1:512 razdelnika, što znači da posmatrani sistem podržava povezivanje do 16384 korisnika sa prosečnim brzinama od ~20Mb/s. Primenom

dinamičke alokacije resursa i 10Gb/s komponenata u ONU jedinicama, svakom korisniku bi se potencijalno mogao obezbediti burst pristup na 10 Gb/s.

6. Rezime

Mreže za pristup i dalje predstavljaju "usko grlo" za pružanje danas sve aktuelnijih širokopojsnih IP servisa, video telefonije, HDTV i dr. Da bi se krajnjim korisnicima omogućio pouzdan i ekonomičan multiservisni pristup sa protocima do nekoliko Mb/s (za, širokopojsni internet, distribuciju video signala, 1-2 telefonska priključka), postojeće mreže za pristup moraju se značajno unaprediti. Jedna od solucija koja to pruža je tehnologija pasivnih optičkih mreža (PON). Do sada standardizovani PON sistemi zasnovani su na TDM multipleksiranju, pri čemu su njihove dužine ograničene na najviše 20km. Aktuelna istraživanja u oblasti PON mreža za pristup usmerena su ne samo ka povećanju kapaciteta TDM-PON sistema njihovom evolucijom u buduće WDM-PON arhitekture, već i u povećanju dometa ovih mreža. Da bi optičke mreže za pristup za velike udaljenosti postale realno ostvarive, razvijene su i predložene različite tehnologije. Projekat SuperPON mreže obezbeđuje realizaciju FTTH PON mreže, kroz pojednostavljenu arhitekturu koja predstavlja kombinaciju postojećih mreža za pristup i metro mreže. Long-Reach PON unapređuje SuperPON arhitekturu implementacijom savremenih optičkih komponenata i tehnika koje obezbeđuju 10Gb/s simetrični saobraćaj, ali primena TDM/TDMA protokola za downstream/upstream prenos korišćenjem jedne talasne dužine rezultuje nedovoljnom efikasnošću u pogledu alokacije resursa i korišćenja raspoloživog kapaciteta optičkog vlakna. Kao unapređenje Long-Reach PON arhitekture, predložen je koncept hibridne DWDM-TDM Long-Reach PON arhitekture zasnovan na implementaciji tehnologije multipleksiranja po talasnim dužinama na backhaul delu mreže. PIEMAN projekat unapređuje WDM/TDM arhitekturu i istražuje potencijalne solucije, kao što su prijemnici sa burst načinom rada, koje će biti neophodne kada optički 10Gb/s pristup bude implementiran. Kao potencijalno najpogodnije solucije za realizaciju optičkih mreža za pristup za velika rastojanja smatraju se Long-Reach GPON i WC-PON sistemi, koji predstavljaju prelazno rešenje u nastojanju operatora da trenutno implementiraju standardne PON arhitekture i potencijalno ih na jednostavan način kasnije unaprede u optičke mreže za pristup za velika rastojanja.

Literatura:

- [1] D.P. Shea, J.E. Mitchell, „Long-Reach Optical Access Technologies“, *IEEE Network*, Vol.21, No.5, pp.5-11, Sept/Oct.2007.
- [2] M.P. McGarry, M. Maier, M. Reisslein, „WDM Ethernet Passive Optical Networks“, *IEEE Communication Magazine*, Vol.42, No.8, pp. S18-S25, Feb. 2006.
- [3] M. P. McGarry, M. Maier, M. Reisslein, „Ethernet PONs: A Survey of Dynamic Bandwidth Allocation (DBA) Algorithms“, *IEEE Communication Magazine*, Vol.44, No.2, pp. S8-S15, Aug. 2004.
- [4] Y. Luo, S.Yin, N.Ansari, T.Wang, „Resource Management for Broadband Access over Time Division Multiplexed passive Optical networks“, *IEEE Network*, Vol.21, No.5, pp.20-27, Sept/Oct.2007.

- [5] S.R. Sherif *et al.*, „A Novel Decentralized Ethernet-Based PON Access Architecture for Provisioning Differentiated QoS“, *IEEE /OSA J. Lightwave Tech.*, Vol.22, No.11, pp.2483-2497, Nov. 2004.
- [6] M. Ma, Y. Zhu, T.H. Cheng, „A Bandwidth Guaranteed Polling MAC Protocol for Ethernet Passive Optical Networks“, *Proc. IEEE INFOCOM*, San Francisco, CA, Vol.1, pp. 22-31, Mar./Apr. 2003.
- [7] C. Assi, M. Maier, A. Shami, „Toward Quality of Service Protection in Ethernet Passive Optical Networks: Challenges and Solutions“, *IEEE Network*, Vol.21, No.5, pp.12-19, Sept/Oct.2007.
- [8] N.M. Froberg, S.R. Henion, H.G. Rao, B.K. Hazzard, S. Parikh, B.R. Rornkey and M. Kuznetsov, "The NGI ONRAMP test bed: reconfigurable WDM technology for next generation regional access networks," *IEEE Journal of Lightwave Technology*, Vol. 18/12, pp 1697-1708, Dec. 2000.
- [9] J. Kani, M. Teshima, K. Akimoto, N. Takachio, H. Suzuki, and K. Iwatsuki, "A WDM-based optical access network for wide-area gigabit access services," *IEEE Optical Communications Magazine*, vol. 41/2, pp. 43 - 48, Feb. 2003.
- [10] Van de Voorde *et al.*, „The SuperPON Demonstrator: An Exploration of Possible Evolution Paths for Optical Access Networks“, *IEEE Commu. Mag.*, vol.38, No. 2, pp.74-82, Feb. 2000.
- [11] D.P. Shea, J.E. Mitchell, „ A 10Gb/s 1024-Way Split 100-km Long Reach Optical Access network“, *J. Lightwave Tech.*, Vol.25, No.3, pp. 685-693, March 2007.
- [12] R.P. Davey, „ DWDM reach Extension of a GPON to 135 km“, *J. Lightwave Tech.*, Vol.24, No.1, pp.29-31, Jan.2006
- [13] D.P. Shea, J.E. Mitchell, „Experimental Upstream Demonstration of a Long Reach Wavelength-Converting WDM-PON with DWDM Backhaul“, *OFC/NFOEC*, pp.25-29, Anaheim, CA, Mar. 2007.

Abstract: *Passive Optical Networks (PON) are becoming the promising technological solution to realize the FTTH (Fiber to the Home) optical access networks. PON systems are completely based on the passive optical equipment and therefore don't require any feeding nor the using of extra devices for network units installation. Different PON technologies are proposed for implementation in the tree network topologies. The overview of currently standardized PON systems and the possible evolution scenario of the TDM (Time Division Multiplexing) based PON architectures are given in this paper.*

Keywords: *access networks, passive optical networks (PON)*

PASSIVE OPTICAL ACCESS NETWORKS

Vladanka Aćimović-Raspopović, Goran Marković, Vesna Radonjić